

Juillet 2022

Techniques de fabrication des miroirs

Introduction

À l'origine, les miroirs étaient tout simplement une surface de métal qui avait été polie jusqu'à être très réfléchissante. Les Hébreux utilisaient du laiton, alors que les Grecs, les Égyptiens et les Romains utilisaient de l'argent ou du bronze. Les techniques de fabrication des miroirs ont évolué par la suite, et l'utilisation du verre fut introduite au cours du 14e siècle. À cette époque, le mode de fabrication des miroirs consistait à recouvrir le dos d'une surface de verre avec un amalgame d'étain et de plomb, ce qui donnait une surface réfléchissante.



anciens miroirs égyptiens trouvés en Israel

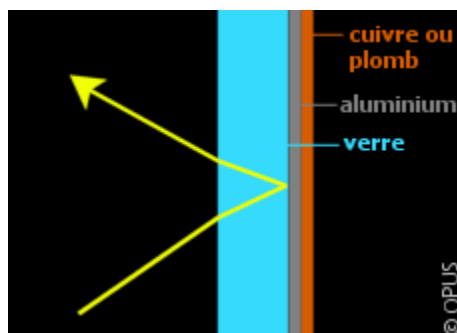
Cette couche de métal est appelée le **tain du miroir**, appellation tirée du mot **étain**. Plus tard, l'argent a aussi été utilisé dans la fabrication de miroirs.

Cependant, l'argent, bien que très réfléchissant, s'oxyde rapidement. Il a depuis été remplacé par l'aluminium qui est presque aussi réfléchissant que l'argent, mais qui s'oxyde beaucoup moins rapidement.

Miroir à réflexion en deuxième surface

On fabrique maintenant un miroir sur mesure de différentes manières, selon l'usage qui en sera fait. Les miroirs qui sont utilisés couramment dans nos maisons sont fabriqués à partir d'une plaque de verre plus ou moins épaisse sur laquelle est appliquée une couche réfléchissante d'aluminium ou d'argent, puis une couche de cuivre ou de plomb, appelée le tain.

Le **verre** sert de support et de protection à la couche réfléchissante, alors que le **tain** rend le miroir complètement **opaque**, tout en empêchant l'oxydation de la **couche réfléchissante**. La couche d'aluminium ou d'argent est généralement assez mince pour être partiellement **transparente**, de sorte qu'un miroir sans couche de cuivre ou de plomb peut être utilisé pour espionner, car on voit à travers. C'est ce qu'on appelle une **glace sans tain**.



Parcours de la lumière dans un miroir commun

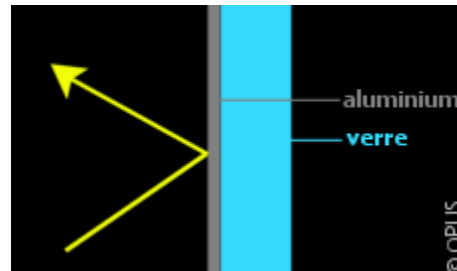
Fabrication de la couche réfléchissante

Un tel **miroir** est fabriqué à partir d'une simple vitre sur laquelle on pulvérise une solution de sel d'argent. Un second produit, qui réagira avec le sel, est ensuite pulvérisé sur le miroir pour n'y laisser qu'une mince couche d'argent métallique. Après l'application de la couche réfléchissante et que cette dernière est bien sèche, on procède à l'application de la couche protectrice.

Miroir à réflexion en première surface

Les miroirs utilisés dans les appareils de haute technologie, comme en optique et en astronomie, sont fabriqués autrement. Pour ces miroirs, la couche réfléchissante est appliquée en première surface et le support peut être en verre ou en céramique. La lumière ne traverse donc aucun autre milieu avant d'être réfléchi, ce qui évite qu'elle soit réfractée et dispersée. De plus, cela permet d'obtenir des miroirs d'une très grande qualité optique. Bien que la couche réfléchissante des miroirs d'appareils optiques soit souvent en aluminium, il est parfois préférable d'utiliser d'autres métaux qui offrent une

meilleure réflectivité, comme l'or. En effet, plus un métal est un bon conducteur, plus il réfléchit efficacement la lumière.



Parcours de la lumière pour un miroir de précision

La **qualité d'un miroir** est grandement affectée par celle de la surface du support. C'est particulièrement le cas en astronomie. Les miroirs utilisés dans les télescopes sont pour la plupart de type parabolique concave et doivent être très précis pour qu'il soit possible d'obtenir de bonnes images. Leur courbure et l'uniformité de leur surface sont critiques. De nombreux amateurs d'astronomie s'attaquent tout de même à la fabrication de leur miroir de télescope. Pour ce faire, ils doivent se procurer un ensemble de fabrication de miroir et s'armer de beaucoup de patience pour polir la plaque de céramique à la main.



Ensemble de fabrication de miroir

Un télescope « myope »

Déjà en 1923, les astronomes rêvaient d'un télescope spatial, affranchi des turbulences atmosphériques (voir Histoire du télescope), afin d'avoir des observations astronomiques toujours plus précises. Le financement du projet de télescope spatial de l'agence spatiale américaine, la NASA, fut approuvé par le Congrès américain en 1977. Ainsi débutait une grande aventure, tant technologique que scientifique, qui se poursuit encore aujourd'hui. Le télescope spatial, nommé Hubble en l'honneur du grand astronome Edwin Hubble, a été lancé le 24 avril 1990 à bord de la navette spatiale Discovery. Le jour suivant, le télescope de 1,6 milliards de dollars américains était déployé sur son orbite terrestre.

Les attentes placées dans ce nouvel instrument astronomique étaient élevées, mais elles furent vite déçues. En effet, à peine deux mois après le lancement d'Hubble, on découvrait qu'il souffrait d'un grave problème d'aberration. Les images obtenues n'avaient pas la netteté espérée.

Le télescope spatial Hubble est un télescope de type Ritchey-Chretien, une variante du télescope de type Cassegrain. Il est ainsi constitué d'un miroir primaire et d'un miroir secondaire, tous deux hyperboliques.

La configuration du télescope spatial Hubble

Le miroir primaire d'Hubble a un diamètre de 2,4 m, alors que son miroir secondaire a un diamètre de 30 cm. La longueur focale du télescope est de 57,6 m. L'assemblage du miroir primaire d'Hubble totalise une masse de 829 kg. Le miroir lui-même a été façonné dans du verre Corning Code 7971 à coefficient de dilatation thermique ultra-faible. Il a ensuite été recouvert d'une couche d'aluminium de 110 nm (1 nm = 1 milliardième de millimètre) d'épaisseur et d'une couche de difluorure de magnésium (MgF₂) de 25 nm. Cette dernière couche a pour but d'améliorer la réflectivité du miroir dans l'ultraviolet et de prévenir l'oxydation de la couche d'aluminium.

Peu après le déploiement d'Hubble, les scientifiques connurent la déception. Malgré toutes leurs tentatives d'ajustement de l'orientation et de l'emplacement du miroir secondaire, les images obtenues par le télescope restaient floues à cause d'un halo de lumière indésirable. Les scientifiques ont vite compris qu'Hubble souffrait d'aberration sphérique et que cette aberration était causée par une erreur dans la forme du miroir principal du télescope. Bien que la surface du miroir ait été d'une qualité exceptionnelle sa courbure était cependant erronée à cause d'un appareil de vérification mal calibré. Le miroir était en effet trop plat sur les bords. La lumière provenant des astres n'était donc pas parfaitement concentrée au foyer du télescope.

Peu de temps après cette découverte malheureuse, des programmes de traitement d'image furent développés pour « corriger » en partie les images obtenues par Hubble. Il est à noter que malgré sa

forte aberration sphérique, Hubble fournissait des images nettement supérieures à ce qu'il est possible d'obtenir sur Terre.

Hubble ayant été conçu de manière à pouvoir remplacer certaines de ses composantes au cours de missions d'entretien, l'idée de lui confectionner des « lunettes » de correction fit son chemin. L'appareil conçu, baptisé COSTAR (pour Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement), était appelé à prendre la place d'un instrument qui pouvait être sacrifié, car sous-utilisé, dans le but de rendre la vue aux trois autres qui resteraient.

COSTAR consiste en un bras, à peine long comme une main, sur lequel sont montés trois ensembles d'éléments optiques. Chacun de ces ensembles est constitué essentiellement de deux miroirs de la grosseur de pièces de monnaie. Un premier miroir sert à rediriger la lumière qui pénétrerait autrement dans l'instrument scientifique vers un second miroir. Celui-ci, ayant une forme complexe, contrebalance exactement l'aberration sphérique du miroir primaire et renvoie la lumière à sa destination d'origine, l'instrument scientifique.

Le premier objet astronomique observé à l'aide de l'optique corrective d'Hubble fut la galaxie spirale M100. Les résultats, reçus quelques jours plus tard, furent accueillis avec enthousiasme. Jamais n'avait-on vu autant de détails dans la structure de cette galaxie. Les résultats obtenus grâce à COSTAR rencontrèrent, et même dépassèrent, ceux espérés. Hubble était désormais en pleine possession de ses moyens.



M100 observée par le télescope spatial Hubble avant (à gauche) et après (à droite) la première mission d'entretien du télescope.

Gracieuseté de la NASA et du STScI

Depuis la mission d'entretien 3B, ayant eu lieu en 2002, COSTAR est inutilisé puisque tous les instruments d'Hubble sont maintenant conçus pour contrebalancer eux-mêmes l'erreur du miroir primaire. Il était prévu que COSTAR soit retiré définitivement lors la mission d'entretien 4, prévue pour 2004. L'accident tragique de la navette Columbia en février 2002 compromet désormais cette mission, ainsi que l'avenir d'Hubble, suite à un rapport d'enquête jugeant toute nouvelle mission

d'entretien d'Hubble comme étant trop risquée. Espérons maintenant que la vie de cet instrument astronomique qui nous a fourni une vision extraordinaire de notre univers ne se terminera pas sur une note aussi triste.

Fabrication de la couche réfléchissante

La couche réfléchissante d'un miroir sur mesure de première surface est la plupart du temps appliquée sous vide. Pour ce faire, on place le miroir à métalliser dans une enceinte étanche dans laquelle on fait le vide à l'aide de pompes. Dans cette même enceinte, on place des fils de métal et un système de chauffage. Lorsqu'un vide suffisant est obtenu dans la chambre à vide, le métal est chauffé jusqu'à son point de fusion. Puisque la pression est très faible dans l'enceinte, le métal se vaporise presque aussitôt et va se déposer sur toutes les surfaces froides exposées, dont celle du miroir. Cette technique permet d'appliquer une couche réfléchissante à la fois très mince et très uniforme.

Cette couche réfléchissante est cependant aussi très fragile. Lorsque la surface du miroir est sale, il n'est donc pas possible de la nettoyer. Il faut plutôt enlever la couche de métal à l'aide de produits chimiques et procéder de nouveau à la métallisation du miroir. C'est d'ailleurs ainsi qu'est entretenu à chaque année le miroir primaire du télescope de l'observatoire du Mont-Mégantic.



Miroir du télescope du mont Mégantic

Conclusion

Le miroir est un objet certes millénaires qui n'a cessé d'évoluer pour devenir un élément constitutif de nombreux travaux scientifiques, en plus de ses vertus décoratives. L'art de sa fabrication s'est développé et a permis une diffusion à grande échelle de ce que l'on appelle classiquement le miroir.

Voir plus

Techniques du vide et métallisation des miroirs (Techniques d'astronome amateur) :

<http://serge.bertorello.free.fr/vide/vide.html>

PEPIN, Raynald (2001). Au-delà des apparences. Sainte-Foy, Éditions MultiMondes, p. 29.

« Miroir », Encyclopédie Microsoft Encarta De Luxe 2001, Microsoft Corporation, 2000.

The Hubble Project (NASA) :

https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html (en anglais)

HECHT, Eugene (2002). Optics, San Francisco, Addison Wesley, 4th edition, p. 256-257.

Wikipedia, Miroir

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Miroir>